

Anténní přizpůsobovací člen pro krátkovlnné drátové antény

Matching Tunner for Short Waves Wired Antennas

Zadání bakalářské práce

Student:

Jakub Jalowiczor

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R059 Mobilní technologie

Téma:

Anténní přizpůsobovací člen pro krátkovlnné drátové antény
Matching Tuner for Short Waves Wired Antennas

Zásady pro vypracování:

Pasivní přizpůsobovací články jsou nedílnou součástí každého anténního ladícího dílu. Pochopení funkce konkrétních typů článků vede k jejich správnému použití při návrhu přizpůsobovacích obvodů. Cíl práce spočívá v návrhu softwarové aplikace, která na základě zadaných parametrů antény provede výpočet základních typů přizpůsobovacích obvodů.

Zásady pro vypracování práce:

1. Vytvořte přehled a teoretický rozbor základních přizpůsobovacích členů z pasivních prvků.
2. Zpracujte výpočetní aparát pro tři základní typy přizpůsobovacích článků PI, T, L.
3. Ve vhodném programovém prostředí vytvořte softwarovou aplikaci pro výpočet výše uvedených přizpůsobovacích členů.
4. Zhodnoťte vhodnost použití jednotlivých členů vzhledem k možnostem přizpůsobení impedancí.

Seznam doporučené odborné literatury:

SMIRENINA, B. A. *Radiotechnická příručka*. Rudolf Major; Jiří Appl. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1955. 1226 s. ISBN 621.396.

IKRÉNYJ, I. *Amatérske Krátkovlnové Antény*. 2. aktualiz. vyd. Bratislava: ALFA, 1972. 459 s. ISBN 624.396.67

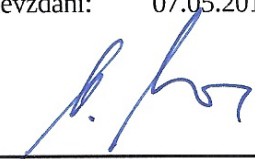
BANALIS, Constantine A. *Antenna Theory Analysis and design*. 3rd edition. United States, 2005. 1117 s. ISBN 0-471-66782-X.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Dvorský, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015


doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 *Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava*.

V Ostravě 7. května 2015

.....*Jalowiczor*.....

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 7. května 2015

.....*Jalowiczor*.....

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Marku Dvorskému, Ph.D. za cenné rady, nápady a připomínky, které mi pomohly při vytváření této práce. Dále bych chtěl poděkovat Josefu Novákovi za pomoc při objasnění pojmů.

Abstrakt

Cílem této práce je seznámit se se základními anténními přizpůsobovacími členy z pasivních prvků, kterými jsou jmenovitě členy typu L, Γ , T a π , zpracovat výpočetní aparát pro určení hodnot jednotlivých prvků těchto přizpůsobovacích členů a zhodnotit v jakých situacích použít daný typ členu. Dále pak implementovat softwarovou aplikaci provádějící výpočet hodnot prvků přizpůsobovacích členů, dle zpracovaného výpočetního aparátu.

Vytvořené řešení nabízí možnost automatického rozpoznání daného typu členu ze zadaných hodnot, výpočet patřičných hodnot, doplnění těchto údajů o elektrotechnické schéma zapojení a vyznačení obrazu zadané impedance antény ve Smithově diagramu. Výsledky této práce by tak měly představovat určité zjednodušení práce s anténními přizpůsobovacími členy.

Klíčová slova: anténní přizpůsobovací členy, článek typu L, článek typu T, článek typu Γ , článek typu π , impedanční přizpůsobení, Smithův diagram

Abstract

The aim of this thesis is to get acquainted with the basic lumped matching networks, especially L, Γ , T a π matching networks, to formulate a computing apparatus determining the values of individual elements and to evaluate in which situations to use appropriate type of matching network. Furthermore, I want to implement a software application which would perform the computation of these elements according to processed computing apparatus.

Given solution allows to automatically distinguish the type of matching network, calculate the appropriate values, append electrical schematic diagram to this data and mark the point of given impedance on Smith chart. The results of this work should represent a simplification of the work with lumped matching networks.

Keywords: lumped impedance matching networks, L matching network, T matching network, Γ matching network, π matching network, impedance matching, Smith chart

Obsah

1	Základní pojmy impedančního přizpůsobení	3
2	Smithův diagram	5
3	Základní přizpůsobovací členy z pasivních prvků	10
3.1	Přizpůsobovací členek typu L	10
3.2	Přizpůsobovací členek typu Γ	12
3.3	Přizpůsobovací členek typu π	13
3.4	Přizpůsobovací členek typu T	14
4	Výpočetní aparát pro základní typy přizpůsobovacích členů	17
4.1	Článek typu L	17
4.2	Článek typu Γ	18
4.3	Článek typu π	19
4.4	Článek typu T	20
5	Softwarová aplikace pro výpočet přizpůsobovacích členů	22
5.1	Vývojové prostředí a programovací jazyk	22
5.2	Popis řešení zadané webové aplikace	23
5.3	Popis uživatelského prostředí a funkcí zadané webové aplikace	27
6	Zhodnocení vhodnosti použití členů	30
7	Závěr	31
8	Reference	32

Úvod

Anténa se ve většině případů nepřipojuje přímo k přístroji, tedy k vysílači či přijímači, ale je umístěna na vhodném místě venku, zatímco přístroj uvnitř budovy. K jejich vzájemnému propojení se používá tzv. napaječ, který slouží k přenosu vysokofrekvenční energie mezi anténou a vysílačem či přijímačem. Tento přenos by měl proběhnout s co nejmenšími ztrátami. Aby toho bylo dosaženo a pomocí napaječe byl přenesen maximální výkon, nesmí v obvodu docházet k odrazu vln.

Toho docílíme tzv. impedančním přizpůsobením, kdy činitelé odrazu zdroje a zátěže jsou komplexně sdruženi. V praxi se tedy mezi anténu a napaječ vkládá impedanční přizpůsobovací člen, díky němuž by mělo dojít k přizpůsobení vstupní impedance Z_{ant} antény k charakteristické impedanci Z_n napaječe. Impedanční přizpůsobovací členy jsou tudíž nedílnou součástí každého anténního ladícího dílu.

V této bakalářské práci je v první kapitole vytvořeno vysvětlení základních pojmů, které se týkají impedančních přizpůsobovacích členů a bez jejichž znalosti je složité se v této problematice orientovat. Následující kapitola se zabývá vysvětlením funkce a popisem Smithova diagramu, jenž usnadňuje práci spojenou s impedančním přizpůsobením. Ve třetí kapitole je uveden teoretický rozbor základních impedančních přizpůsobovacích členů z pasivních prvků. Jedná se o přizpůsobovací členy typu L, Γ , π a T. Čtvrtá kapitola obsahuje zpracovaný výpočetní aparát, který lze užít pro výpočet prvků, ze kterých se dané přizpůsobovací členy skládají. Pátou kapitolou začíná praktická část, jež popisuje implementaci webové aplikace pro automatické určení typu členu přizpůsobujícího uživatelem zadané impedance a provádějící výpočet kapacity a indukčnosti určeného členu. Právě úspěšná implementace této webové aplikace je hlavní cílem této bakalářské práce. Poslední kapitola pojednává o poznatcích spojených se zhodnocením, v jaké situaci použít daný přizpůsobovací člen.

1 Základní pojmy impedančního přizpůsobení

Anténa je jednou z nejdůležitějších částí radiokomunikačního řetězce a ve vysoké míře ovlivňuje kvalitu přenosu. Na její vhodnou volbu je proto nutné brát patřičný zřetel. Jedná se v podstatě o zařízení určené pro vysílání či příjem rádiových vln. Pro různé frekvence se mění impedance antény, tudíž je anténa závislá nejen na směru šíření a polarizaci signálu, ale také na pracovní frekvenci.

Aby bylo možné používat jednu anténu v širším rozsahu frekvencí, je důležité vždy provést impedanční přizpůsobení vstupní impedance antény Z_{ant} k charakteristické impedanci napaječe Z_n . Pokud dojde k impedančnímu přizpůsobení, je energie přenášena s největší účinností z vysílače do antény, popřípadě z antény k přijímači. Míra impedančního přizpůsobení lze určit pomocí poměru stojatých vln PSV.

Napaječem rozumíme vysokofrekvenční kabel sloužící k propojení antény s přijímačem či vysílačem, jehož hlavní úlohou je přenos energie s co nejmenšími ztrátami. Hlavní vlastností napaječe je charakteristická impedance Z_n , která je závislá na materiálu, ze kterého je napaječ vyroben, dále také na rozměrech a geometrickém uspořádání vodičů napaječe. Běžně používané symetrické napaječe mají charakteristickou impedanci 300 Ω či 450 Ω , v případě koaxiálních napaječů jsou pak běžně používány charakteristické impedance 50 Ω a 75 Ω [1].

Vstupní impedance antény Z_{ant} je definována jako poměr napětí a proudu na vstupních svorkách antény. Jedná se o komplexní veličinu, proto se skládá se ze dvou složek, kterými jsou reálná složka, vstupní činný odpor R_{vyz} , označovaná také jako rezistance a jalová složka, vstupní reaktance X_{vst} . Jednotkou impedance je Ohm Ω . Rovnice č.1.1 zobrazuje vztah pro impedanci. Reaktance může nabývat buď indukčního charakteru, pokud je reaktance kladná či kapacitního charakteru, pokud je reaktance záporná. Reálná složka impedance R_{vyz} narůstá s rostoucím kmitočtem, jalová složka impedance X_{vst} na nízkých kmitočtech nabývá kapacitního charakteru a spolu s kmitočtem klesá až k nule. Za situace, kdy dojde ke zvýšení kmitočtu nad rezonanční kmitočet, má reaktance indukční charakter a její velikost se zvětšuje [2].

$$Z_{ant} = \frac{U_{vst}}{I_{vst}} = R_{vyz} \pm j \cdot X_{vst} \quad (1.1)$$

Admittance Y je převrácenou hodnotou impedance, jak je k vidění na rovnici č.1.2. Jednotkou je Siemens S. Admittance je stejně jako impedance komplexní veličinou a skládá se tedy z reálné a imaginární části. Reálná část se nazývá konduktance G a imaginární část susceptance B , jak je tomu v rovnici č.1.3. U susceptance, obdobně jako u reaktance, dále rozlišujeme kapacitní a indukční charakter. Kapacitní susceptance je kladná, indukční záporná. Je tomu tedy opačně, než u reaktance.

$$Y = \frac{1}{Z} \quad (1.2)$$

$$Y = G \pm j \cdot B \quad (1.3)$$

Při práci se sériově zapojenými součástkami je výhodnější počítat s impedancí, neboť umožňuje manipulovat s rezistancemi a reaktancemi pouze na úrovni sčítání a odečítání. Při práci s paralelně zapojenými součástkami je zase výhodnější počítání s admitancí, kde je na rozdíl od impedance, umožněna manipulace na úrovni sčítání a odečítání s konduktancemi a susceptancemi.

Poměr stojatých vln PSV (anglicky Standing Wave Ratio SWR) je definován jako poměr výkonu elektromagnetické vlny šířící se v dopředném směru, tedy od zdroje k zátěži a výkonem elektromagnetické vlny odražené. Odražená vlna vzniká při impedančním nepřizpůsobení v místě připojení a postupuje v opačném směru, tedy zpět ke zdroji. Dopředná a odražená elektromagnetická vlna na vedení vytváří stojaté vlnění [3]. PSV má pro bezeztrátové vedení konstantní hodnotu a lze určit jako poměr amplitud napětí (proudů) stojaté vlny v kmitně k amplitudám napětí (proudů) v uzlu. PSV by mělo být udáváno jako poměr N:1, kde N může nabývat hodnot $1 \dots \infty$. Při PSV = 1:1 je obvod na daném kmitočtu impedančně přizpůsobený a je přeneseno maximum energie mezi napaječem a anténou. Při PSV > 1:1 je obvod impedančně nepřizpůsobený. V radiotechnice se používá také výraz činitel stojatých vln ČSV, který již není udáván jako poměr a tedy, na rozdíl od PSV, je N:1 vyjádřeno pouze jako N. Měření PSV se provádí pomocí PSV metru.

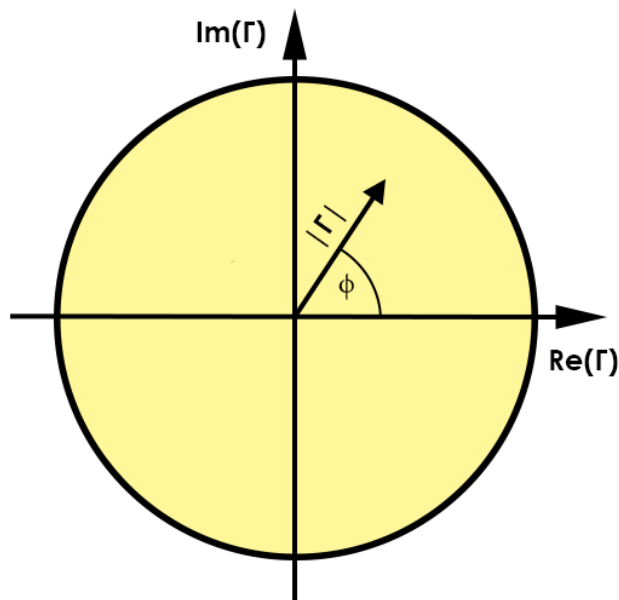
$$PSV = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{U_f + U_r}{U_f - U_r} \quad (1.4)$$

V rovnici č.1.4 jsou pod označením U_{max} a U_{min} myšleny maxima a minima stojaté vlny na vedení. U_f je amplituda dopředné a U_r je amplituda odražené vlny [1].

2 Smithův diagram

Tento diagram byl vynalezen ve 30. letech 20. století inženýrem společnosti RCA Phillipem H. Smithem jako pomůcka pro techniky zabývající se rádiovou technikou. Smith nebyl prvním, kdo tento diagram vymyslel, stejným problémem se totiž zabýval také japonský inženýr Kurakawa, který asi rok před ním vytvořil obdobný diagram. Ten však nebyl tak dotažený a rozvinutý jako diagram Smithův.

Smithův diagram je jedním z nejpoužívanějších grafických nástrojů pro aplikace s vysokofrekvenčními obvody. Je vytvořen tak, aby napomáhal při řešení problémů s přenosovým vedením či při navrhování LC přizpůsobovacích článků. Diagram slouží také jako grafická demonstrace toho, jak se několik rádiových parametrů chová vzhledem k jedné či více frekvencí [4].



Obrázek 2.1: Kruh v komplexní rovině s ukázkou činitele odrazu

Jednoduše se jedná o reprezentaci téměř všech možných komplexních impedancí s ohledem na souřadnice definované činitelem odrazu Γ . Oblast, ve které je činitel odrazu definován, má tvar kruhu s poloměrem 1 v komplexní rovině. Ten je také oblastí Smithova diagramu [5]. Vše je k vidění na obrázku č.2.1. Tato oblast je pak rozdělena různými kružnicemi a křivkami. Vodorovná osa představuje reálnou část činitele odrazu $\text{Re}(\Gamma)$, svislá osa pak část imaginární $\text{Im}(\Gamma)$. Úplná otáčka kolem diagramu je vytvořena pohybem o vzdálenosti $\lambda/2$ podél přenosového vedení. Všechny imaginární impedance od $+\infty$ do $-\infty$ jsou v diagramu zastoupeny, avšak pouze pozitivní reálné impedance se objeví na „klasickém“ Smithově diagramu. Je tedy možné jít mimo jednotkový kruh Smithova diagramu, avšak pouze s aktivním zařízením, protože je předpokladem negativní odpor.

Činitel odrazu Γ je komplexní vektor táhnoucí se ze středu diagramu až do bodu odpovídajícího dané impedanci. Je přesně určen impedancí Z , což je impedance na konci vedení (impedance zátěže) nebo impedance na začátku vedení a referenční impedancí Z_0 . Rovnice č.2.1 zobrazuje vzorec pro výpočet činitele odrazu.

$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad (2.1)$$

Z tohoto vzorce lze určit vztah pro poměrnou hodnotu rezistance r a reaktance x . Platí pak vzorce č.2.2 a č.2.3, kde R_{vyz} je rezistance antény, X_{vst} je reaktance antény a R_n je rezistance napaječe.

$$r = \frac{R_{vyz}}{R_n} \quad (2.2)$$

$$x = \frac{X_{vst}}{R_n} \quad (2.3)$$

Vektor činitele odrazu je v komplexní rovině definován svou velikostí $|\Gamma|$ a fází ϕ , platí tak vztah č.2.4.

$$\Gamma = |\Gamma|e^{j\phi} \quad (2.4)$$

Činitel odrazu Γ lze také rozložit na reálnou složku, označenou ve vzorci písmenem c a imaginární složku, označenou jako písmeno d . Za pomoci vzorce č.2.5 je možné vypočítat tyto složky z hodnot poměrné rezistance r a poměrné reaktance x .

$$\Gamma = c + jd = \frac{r^2 + x^2 - 1}{(r + 1)^2 + x^2} + j \left(\frac{2x}{(r + 1)^2 + x^2} \right) \quad (2.5)$$

Pro výpočet velikosti činitele odrazu lze použít vzorec č.2.6, kde c a d jsou předchozím vzorcem vypočítané hodnoty reálné a imaginární složky činitele odrazu.

$$|\Gamma| = \sqrt{c^2 + d^2} \quad (2.6)$$

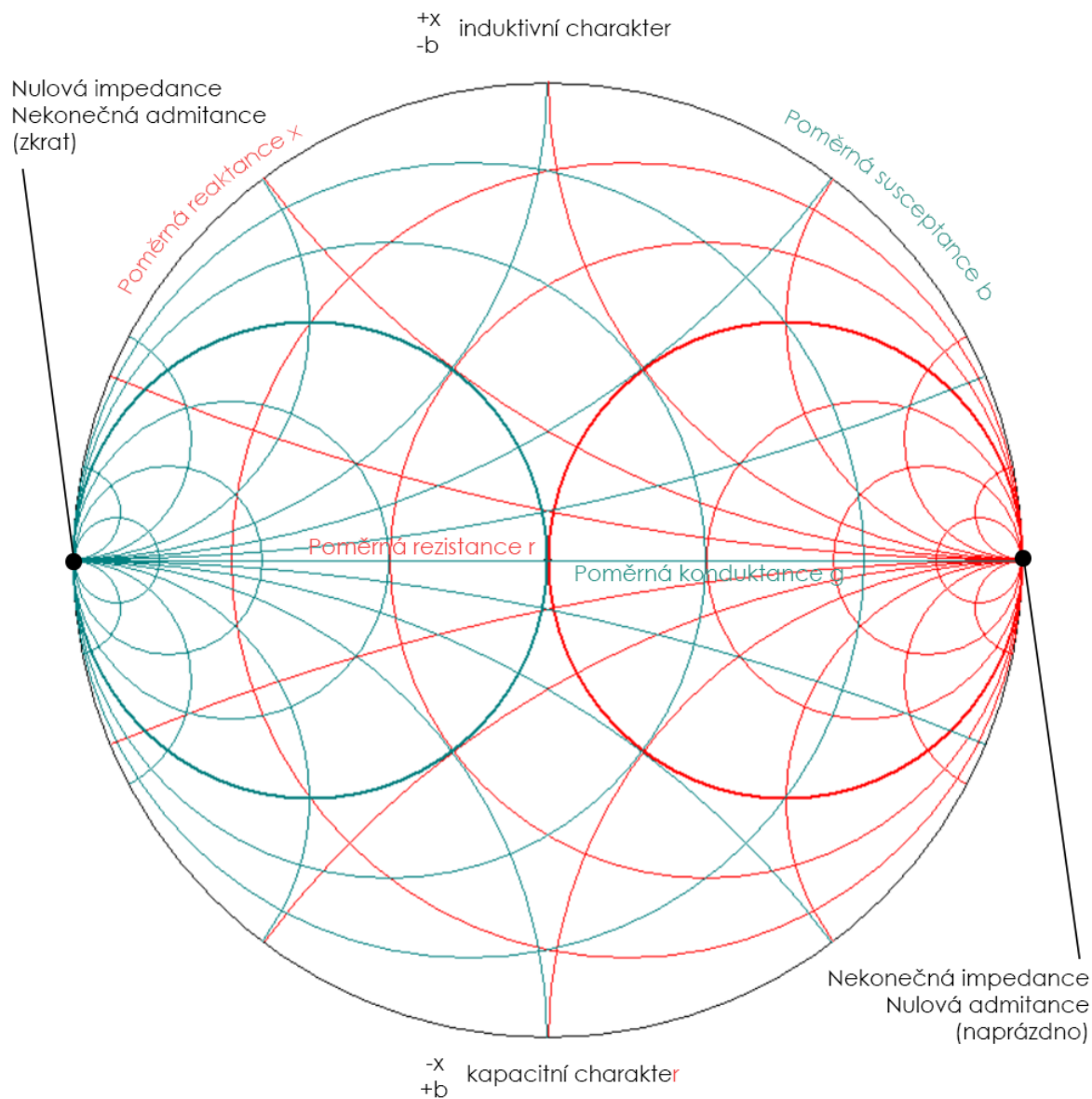
Hodnotu fáze lze následně určit za pomoci vzorce č.2.7 v případě, že je hodnota c kladná, nebo pokud je hodnota c záporná, pomoci vzorce č.2.8. [6] [7]

$$\phi = \arctg \left(\frac{d}{c} \right) \quad (2.7)$$

$$\phi = \pi + \arctg \left(\frac{d}{c} \right) \quad (2.8)$$

Smithův diagram může zobrazovat také admitanci, kde je impedance nahrazena převrácenou hodnotou. Kružnice impedance jsou od kružnic admitance rozlišeny barvou. Impedance má větší barvu červenou, admitance barvu zelenou. Kružnice impedance a admintance jsou v diagramu

vzájemně pootočený o 180° . Na levé straně Smithova diagramu je nulová impedance, na pravé straně je impedance nekonečná. U admitance je tomu potom naopak. Stejně tak u imaginární osy jsou prohozená znaménka. Takový Smithův diagram je zobrazen na obrázku č.2.2.



Obrázek 2.2: Smithův diagram

Spojení impedance a admitance do jednoho diagramu přináší mnoho výhod. Při práci se sériově zapojenými obvody či při vkládání obvodových prvků do série s již existujícím obvodem se snadněji pracuje s rezistancí a reaktancí na Smithově diagramu s impedancí. Avšak při práci s

paralelně zapojenými obvody či při vkládání obvodových prvků paralelně k již existujícímu obvodu je jednodušší užití konduktance a susceptance na Smithově diagramu s admitancí. Spojením kružnic impedance i admitance do jednoho diagramu je užitečné pro kombinaci jak sériově, tak paralelně připojených součástek [8].

Smithův diagram je rozdělen vodorovnou přímkou uprostřed hlavní velké kružnice na dvě poloviny. Na této vodorovné přímce má jakýkoliv bod pouze reálnou složku impedance, tedy rezistanci. Horní polovina hlavní kružnice vymezená touto přímkou představuje kladnou část reaktance. Dolní polovina pak vyjadřuje zápornou část reaktance. Každá z menších kružnic červené barvy (určeny pro impedanci) uvnitř diagramu se středem na dělicí přímce je tvořena body se stejnou hodnotou reálné složky impedance. Tato hodnota je dána místem, ve kterém se kružnice kříží s dělicí přímkou. Pohybem po kterékoliv z těchto kružnic v horní polovině je k rezistanci přidána kladná reaktance. Pohybem po kružnici v dolní polovině přibývá k rezistanci záporná reaktance. Červené křivky, které nemají střed na dělicí přímce, určují přesnou hodnotu reaktance. Pouze jeden bod v diagramu představuje místo ideálního impedančního přizpůsobení, kde je reálná část impedance rovna referenční impedanci Z_0 a imaginární část impedance je nulová. Toto místo je přesně uprostřed Smithova diagramu, kde je nulový činitel odrazu Γ a právě do tohoto místa se při přizpůsobování snažíme dostat [9].

U admitance je tomu obdobně. Na vodorovné přímce je konstantní hodnota reálné části admitance, tedy konduktance. Horní polovina hlavní největší kružnice nad touto půlicí vodorovnou přímkou představuje záporné hodnoty susceptance. Dolní polovina diagramu pod přímkou pak představuje kladné hodnoty susceptance. Každá z menších kružnic zelené barvy se středem ležícím na vodorovné přímce uprostřed diagramu je tvořena body se stejnou hodnotou konduktance. Hodnota je určena stejně, jako je tomu u kružnic s impedancí, tedy místem, ve kterém se kříží tato kružnice s dělicí přímkou. Pohybem po kterékoliv z těchto kružnic v horní polovině je přidána ke konduktanci záporná hodnota susceptance. Pohybem v dolní polovině je ke konduktanci přidána kladná hodnota susceptance. Zelené křivky, jejichž střed neleží na dělicí přímce, určují přesnou hodnotu susceptance.

L a Γ impedanční přizpůsobovací články neumožňují pokrytí celé plochy impedancí ve Smithově diagramu, které lze přizpůsobit. Pokud je potřeba univerzálního přizpůsobovacího článku, který pokryje celou plochu impedancí, je nutno použít přizpůsobovací články typu T nebo π . Na rozdíl od článku L a Γ , kde se činitel jakosti nastaví automaticky na nejnižší hodnotu pro dané impedanční přizpůsobení, u článků T a π je nutno brát zřetel na to, aby provozní činitel jakosti Q nebyl příliš velký, což by znamenalo vysoké ztráty. Proto je důležité stanovit si určitou nízkou maximální hodnotu Q a tu potom při pohybu v diagramu nepřekračovat.

Při používání Smithova diagramu pro účely impedančního přizpůsobení se do diagramu ze všeho nejdříve musí vynést bod představující parametry antény. Těmito parametry jsou frekvence, rezistance a reaktance. Obě složky impedance jsou před vnesením do diagramu normalizovány tak, že jsou vyděleny hodnotou charakteristické impedance. To se provádí z důvodu univerzálnosti diagramu, aby pojal i vysoké impedance. Jakmile je bod vnesen do diagramu, je nutné se pohy-

bem po kruzích, přidáváním do obvodu LC prvků, dostat do středu hlavní kružnice, tedy do místa ideálního impedančního přizpůsobení a to tímto způsobem [10]:

- Zapojení cívky do série – pohyb ve směru hodinových ručiček po kružnici s konstantní rezistancí
- Zapojení kondenzátoru do série – pohyb proti směru hodinových ručiček po kružnici s konstantní rezistancí
- Zapojení cívky paralelně – pohyb proti směru hodinových ručiček po kružnici s konstantní konduktancí
- Zapojení kondenzátoru paralelně – pohyb ve směru hodinových ručiček po kružnici s konstantní konduktancí

Možná je i zpětná operace, kdy je známý činitel odrazu. Vynesením činitele odrazu do diagramu a vyhledáním dvou kružnic, které se protínají v tomto bodě, můžeme vyčíslit odpovídající hodnoty rezistance a reaktance.

3 Základní přizpůsobovací členy z pasivních prvků

Tyto přizpůsobovací členy, v literatuře též nazývané jako přizpůsobovací obvody se soustředěnými parametry, lze rozdělit na čtyři základní typy:

- přizpůsobovací člen typu L
- přizpůsobovací člen typu Γ
- přizpůsobovací člen typu π
- přizpůsobovací člen typu T

Hlavní vlastnost, užívaná u všech impedančních přizpůsobovacích členů, spočívá v tom, že každá impedance Z může být vyjádřena buď sériovou kombinací rezistance a reaktance, nebo paralelní kombinací rezistance a reaktance, avšak vždy s různými hodnotami. Užitím impedančních přizpůsobovacích členů lze provádět vyrovnání impedancí napaječe a antény, u kterých nejenže nejsou stejné reaktance, ale ani rezistance. V případě, že by byly rezistance stejné, stačí provést pouze vykompenzování reaktancí. Obecně lze říct, že z důvodu velkých ztrát, jsou přizpůsobovací členy skládající se z rezistorů pro aplikace ve výkonové rádiové technice nepoužitelné.

V následujících podkapitolách budou jednotlivé články teoreticky rozebrány a popsána jejich funkce.

3.1 Přizpůsobovací článek typu L

Článek typu L spolu s Γ článkem mají nejjednodušší zapojení. Mimo to dosahují také nejnižších ztrát. Tento typ přizpůsobovacího článku se používá, pokud je vstupní činný odpor antény R_{vyz} menší než činný odpor napaječe R_n . L článek se skládá ze sériově zapojené reaktance X_s , za níž následuje paralelně připojená reaktance X_p . Tyto reaktance mají vzájemně opačný charakter. Existuje tedy článek v provedení jako horní propust nebo v provedení dolní propusti. Jejich schéma zapojení je k vidění na obrázku č.3.1. Pokud je sériová reaktance kapacitního charakteru, paralelní pak musí být charakteru indukčního a naopak. Pro danou frekvenci, impedanci antény a charakteristickou impedanci napaječe vždy existuje pouze jedna hodnota indukce cívky L a jedna hodnota kapacity kondenzátoru C taková, aby byla splněna podmínka ideálního impedančního přizpůsobení.

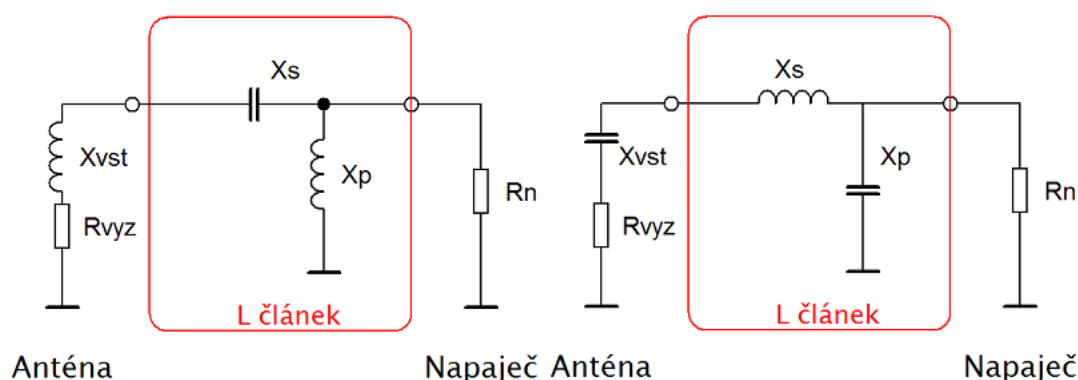
Jestliže je vstupní reaktance antény X_{vst} kapacitního charakteru, musí být vykompenzována sériově zapojenou reaktancí L článku X_s indukčního charakteru. V případě vstupní reaktance antény X_{vst} indukčního charakteru, musí dojít k vykompenzování sériově zapojenou reaktancí L článku X_s kapacitního charakteru.

Pro pochopení toho, jak přizpůsobovací článek typu L pracuje, je nutné si uvědomit, že sériově zapojenou reaktanci L článku X_s lze fiktivně rozdělit na dvě části. Jedna část slouží ke kompenzaci

vstupní reaktance antény X_{vst} a musí mít tedy stejnou velikost. Zbývá část, spolu s činným odporem antény R_{vyz} v sériovém zapojení tvoří obě složky nové impedance. Dále je uplatněna vlastnost uvedená v úvodu kapitoly a to nahrazení složek impedance v sériovém zapojení složkami impedance v zapojení paralelním, avšak s novými hodnotami. Je nutno podotknout, že pro vytvoření stejné impedance Z je potřeba vždy vyšších hodnot paralelně zapojené rezistance R_{p1} a reaktance X_{p1} nežli sériově zapojené rezistance R_{s1} a reaktance X_{s1} . Přizpůsobovací články pracují v rezonančním režimu, je tedy nutno vykompenzovat veškeré reaktance. Reaktance vzniklá nahrazením za paralelní zapojení X_{p1} a paralelní reaktance L článku X_p mají stejnou hodnotu a opačný charakter, dojde tedy k jejich vykompenzování a tím z obvodu zmizí poslední reaktance. Došlo tak k impedančnímu přizpůsobení, kdy $R_{vyz} = R_n$ a poměr stojatých vln PSV = 1:1 [11].

Při užití Smithova diagramu by proces přizpůsobení u L článku v provedení dolní propusti vypadal následovně. Nejprve je zde do série zapojena cívka, což znamená pohyb ve směru hodinových ručiček po kružnici s konstantní rezistancí. Následuje paralelně připojený kondenzátor, tedy opět pohyb ve směru hodinových ručiček, nyní však po kružnici s konstantní konduktancí. První pohyb po kružnici s rezistancí by měl skončit v místě křížení se s kružnicí s konstantní konduktancí vedoucí po směru hodinových ručiček do středu diagramu, čehož je následně docíleno druhým pohybem. Obdobně je tomu i u L článku realizovaném jako horní propust, kde je však do série zapojený kondenzátor, což znamená pohyb proti směru hodinových ručiček po kružnici s konstantní rezistancí, který by měl končit opět v místě křížení s kružnicí s konstantní konduktancí vedoucí do středu diagramu ve směru proti hodinovým ručičkám. Tento pohyb umožňuje paralelně připojená cívka.

Část s kapacitou je ve většině případů volena jako mechanický laditelný kondenzátor. Je téměř nemožné vyrobit L článek, který by pojal celé pásmo krátkých vln, jelikož otočný kondenzátor nemá tak velký rozsah. Rozšíření velikosti pásma, ve které je schopen L článek impedančního přizpůsobení, se provádí užitím dvou článků, kdy jeden je určen pro horní pásmo a druhý pro pásmo dolní.

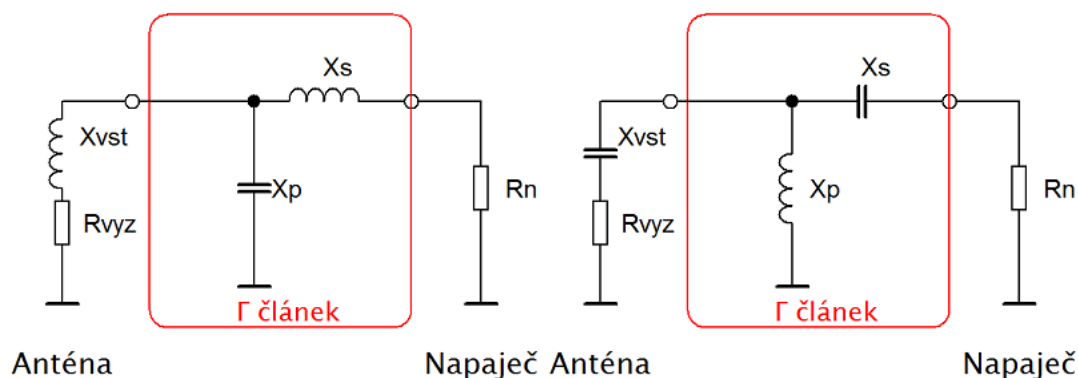


Obrázek 3.1: Článek typu L horní propust a L dolní propust

3.2 Přizpůsobovací článek typu Γ

Tohoto typu přizpůsobovacího článku užijeme, pokud je vstupní činný odpor antény R_{vyz} větší než činný odpor napaječe R_n . Γ článek se skládá z paralelně zapojené reaktance X_p za níž následuje sériově připojená reaktance X_s . Tyto reaktance mají vzájemně opačný charakter. Objevit se může ve dvou variantách a to v provedení jako horní či jako dolní propust. Schématické znázornění obvodu je k vidění na obrázku č.3.2. Je zde zřetelné, že svůj název tyto články dostaly podle tvaru písmene Γ , který jejich zapojení vytváří. V případě, že je paralelní reaktance kapacitního charakteru, sériová pak musí být charakteru indukčního a naopak. Část s kapacitou je, stejně jako u článku typu L, volena pro možnost plynulého nastavování jako mechanický laditelný kondenzátor.

Pokud je vstupní reaktance antény X_{vst} kapacitního charakteru, musí být vykompenzována paralelně zapojenou reaktancí Γ článku X_p indukčního charakteru. V případě vstupní reaktance antény X_{vst} indukčního charakteru, musí dojít k vykompenzování paralelně zapojenou reaktancí X_p kapacitního charakteru.



Obrázek 3.2: Článek typu Γ dolní propust a Γ horní propust

Při řešení impedančního přizpůsobení za pomoci tohoto článku nejprve dochází pomyslně k nahrazení složek impedance antény Z_{ant} v sériovém zapojení na složky impedance v zapojení paralelním, tedy rezistance antény R_{vyzp} je nyní v paralelním zapojení s reaktancí antény X_{vstp} . Reaktance antény X_{vstp} spolu s paralelně zapojenou reaktancí Γ článku X_p sníží hodnotu celkové paralelní reaktance. Jelikož jsou prvky v paralelním zapojení, tato hodnota je lépe zjistitelná převodem reaktance na susceptanci, se kterou se lépe pracuje, neboť se hodnoty susceptancí v paralelním zapojení pouze odečtou nebo přičtou. V tomto případě dojde ke vzájemnému rozdílu obou susceptancí, protože má každá jiný charakter. Po přepočtu zpět na celkovou paralelní reaktanci vytváří spolu s rezistancí antény R_{vyzp} složky nově vzniklé impedance. Tu je pro další potřeby nutné vyjádřit v sériovém zapojení jednotlivých složek. V posledním kroku dojde k vzájemnému vykompenzování reaktance v sériovém zapojení nově vzniklé impedance spolu se sériově připojenou reaktancí Γ článku X_s . Mají totiž obě stejnou hodnotu a vzájemně opačný charakter. Nastalo tak impedanční přizpůsobení, kdy $R_{vyz} = R_n$ a poměr stojatých vln PSV = 1:1 [11].

Následuje popis impedančního přizpůsobení za užití Smithova diagramu. Článek typu Γ v provedení horní propusti je tvořen paralelně připojenou cívkou, což znamená pohyb proti směru hodinových ručiček po kružnici s konstantní konduktancí. Tento pohyb je nutno ukončit v místě křížení s kružnicí s konstantní rezistancí tak, aby následným pohybem proti směru hodinových ručiček po této kružnici, který je umožněn sériově zapojeným kondenzátorem, bylo dosaženo středu diagramu. Při použití článku typu Γ dolní propust je nejprve umožněn pohyb ve směru hodinových ručiček po kružnici s konstantní konduktancí paralelně připojeným kondenzátorem. Ukončení pohybu je nutno provést v místě křížení s kružnicí s konstantní rezistancí, po které je dovoleno pohybovat se ve směru hodinových ručiček až do středu diagramu, tedy do místa ideálního impedančního přizpůsobení.

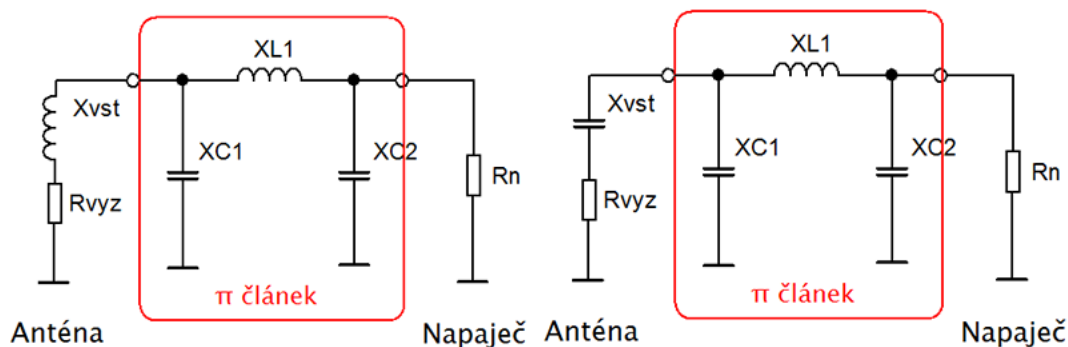
3.3 Přizpůsobovací článek typu π

Tohoto typu článku užíváme, pokud je vstupní činný odpor antény R_1 (R_{vyz}) větší než činný odpor napaječe R_n . Článek je tvořen paralelně připojenými reaktancemi X_{C1} a X_{C2} kapacitního charakteru, mezi nimiž je sériově zapojená reaktance X_{L1} indukčního charakteru. Schématické zapojení je k vidění na obrázku č.3.3. Svůj název tento článek dostal podle tvaru písmene, který ve schématu vytvářejí jeho prvky. Funguje jako dolní propust. π článek, stejně jako článek typu L a Γ , opět funguje na rezonančním principu, musí tedy dojít k vykompenzování všech reaktancí.

Článek typu π pracuje následujícím způsobem. Prvky obvodu R_1 , X_{C1} , R_n a X_{C2} jsou v paralelním zapojení a tvoří impedance Z_1 a Z_2 , kdy obě impedance mají odlišné hodnoty. Převodem jednotlivých složek těchto impedancí z paralelního do sériového zapojení R_{1s} , X_{C1s} a R_{ns} , X_{C2s} je zajištěno, že nastala shoda rezistancí R_{1s} a R_{ns} , a v obvodu prochází jediný společný proud I . Sériově zapojené X_{C1s} a X_{C2s} lze sečíst a nahradit jednou reaktancí. V obvodu tak zůstává sériově zapojená reaktance vzniklá sečtením X_{C1s} a X_{C2s} , a původní sériově zapojená reaktance π článku X_{L1} . Sečtené reaktance mají stejnou hodnotu jako reaktance X_{L1} a vzájemně opačný charakter, dochází tak k jejich vykompenzování a tudíž i k impedančnímu přizpůsobení, neboť došlo k odstranění posledních reaktancí. To znamená, že $R_1 = R_n$ a poměr stojatých vln PSV = 1:1 [12].

U přizpůsobovacích článků typu L a Γ byla funkce popisována nejen s činnou složkou impedance, tedy rezistancí R_{vyz} , ale také s reaktancí X_{vst} . Pro jednodušší popis funkce článku typu π byla funkce výše popisována pouze s rezistancí R_1 . Dále následuje popis funkce článku se zahrnutím reaktanční složky X_{vst} , která je spolu s rezistancí R_{vyz} přivedena na vstup π článku.

Pokud je X_{vst} kapacitního charakteru, ze všeho nejdříve je proveden pomyslný převod R_{vyz} a X_{vst} ze sériového zapojení na paralelní, čímž získají obě složky impedance nové hodnoty. Musí se zvolit taková hodnota reaktance kapacitního charakteru článku π , která spolu s reaktancí X_{vst} v paralelním zapojení vytvoří dohromady hodnotu vypočítané reaktance X_{C1} . Prvky jsou v paralelním zapojení, tudíž je jednodušší převést reaktance na převrácenou hodnotu, neboli susceptance, se kterými se provádí dopočet snadněji. Stačí odečíst od hodnoty susceptance, kterou chceme získat, hodnotu susceptance antény. Po přepočtu této vypočtené hodnoty susceptance na reaktanci se



Obrázek 3.3: Článek typu PI

článek chová způsobem popsaným výše, rezistance R_{vyz} antény je brána jako vstupní rezistance R_1 .

Pokud je reaktance antény X_{vst} indukčního charakteru, opět je nejprve proveden převod R_{vyz} a X_{vst} ze sériového zapojení na paralelní a obě složky impedance tak získají nové hodnoty. Zde je z důvodu paralelního zapojení reaktance indukčního charakteru X_{vst} a reaktance kapacitního charakteru X_{C1} vhodné provést převod reaktancí na susceptance, se kterými bude kompenzace jednodušší. Aby totiž došlo ke zbavení se na susceptanci převedené vstupní reaktance antény, je nutné provést její kompenzaci stejnou hodnotou susceptance, avšak s opačným charakterem, tedy kapacitním. Kompenzační susceptance se poté sdrúží s na susceptanci převedenou hodnotu reaktance π článku X_{C1} . Převedením sdrúžené susceptance na reaktanci získá reaktance π článku X_{C1} novou hodnotu. Tím došlo k odstranění reaktance X_{vst} indukčního charakteru a dále už se opět přizpůsobovací článek chová stejně, jako když reaktance antény není uvažována.

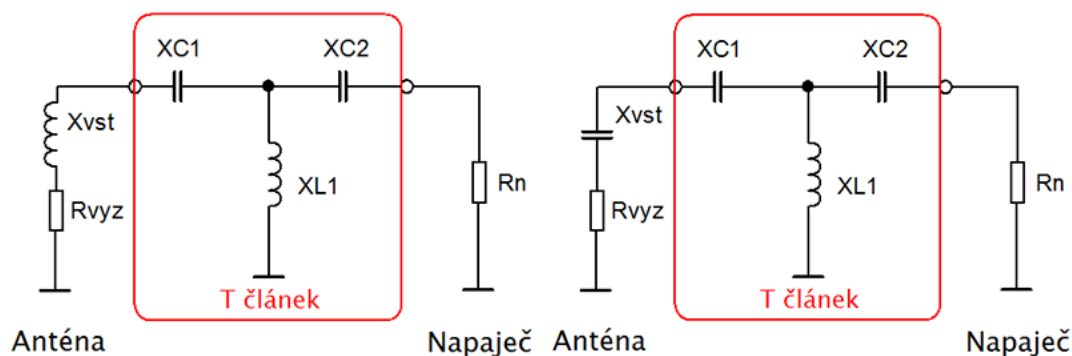
Přizpůsobení za použití Smithova diagramu probíhá následovně. Jako první je do obvodu připojen paralelně kondenzátor, což znamená pohyb po příslušné kružnici admitance ve směru hodinových ručiček. Pohyb je ukončen v místě křížení s kružnicí impedance tak, aby došlo následným pohybem ve směru hodinových ručiček po této kružnici impedance, zapříčiněný sériově zapojenou cívkou, ke křížení s kružnicí admitance, která vede do středu diagramu. Středu diagramu je dosaženo pohybem ve směru hodinových ručiček, umožněným paralelně připojeným kondenzátorem.

3.4 Přizpůsobovací článek typu T

Článek tohoto typu se užívá, pokud je činný odpor antény R_1 (R_{vyz}) menší než činný odpor napaječe R_n . Skládá se ze dvou sériově připojených reaktancí X_{C1} a X_{C2} kapacitního charakteru, mezi nimiž je paralelně zapojená reaktance X_{L1} indukčního charakteru. Vše je k vidění na obrázku č.3.4. Článek dostal své jméno opět podle písmene, které připomíná jeho schéma zapojení. Fun-

guje na principu horní propusti. Na rozdíl od L a Γ článků dochází u T článku k převodu obou nepřizpůsobených impedancí na nové, avšak navzájem shodné hodnoty.

Vstupní rezistance antény R_1 spolu se sériově připojenou reaktancí X_{C1} tvoří složky impedance Z_1 , stejně tak na druhé straně tvoří rezistance napaječe R_n společně s reaktancí X_{C2} složky impedance Z_2 . Převodem prvků impedancí do paralelní podoby je zajištěno, že obě rezistance R_1 i R_n dostaly tímto převodem nové (vyšší) hodnoty, které jsou si vzájemně rovny. Jelikož jsou prvky obvodu v paralelním zapojení, je zde vhodné provést převod reaktancí na susceptance. Na susceptance převedené reaktance X_{C1} a X_{C2} mohou být sečteny a sloučeny do jedné susceptance. Porovnáním této susceptance s na susceptanci převedenou reaktancí X_{L1} je zjištěno, že jsou si rovny, mají vzájemně opačný charakter a nastala rezonance. Susceptance jsou navzájem odečteny a vodivost má nulovou hodnotu, což představuje stav nekonečně velkého ztrátového odporu, který je jeho ideální hodnotou. Došlo k odstranění posledních reaktancí v obvodu a tím k impedančnímu přizpůsobení, což znamená, že $R_1 = R_n$ a poměr stojatých vln PSV = 1:1 [13].



Obrázek 3.4: Článek typu T

Stejně jako u článku typu π i zde byla pro zjednodušení popisu funkce T článku uvažována pouze reálná složka impedance. Dále bude funkce vysvětlena za přítomnosti obou složek impedance antény, jak s rezistancí R_{vyz} , tak s reaktancí X_{vst} . Obě tyto složky se v sériovém zapojení připojí na vstup T článku.

Nejprve je uveden postup za možnosti, že reaktance antény je kapacitního charakteru. V tomto případě se reaktance antény X_{vst} stane součástí sériově zapojené reaktance T článku X_{C1} kapacitního charakteru. Obě mají stejný charakter, můžou tedy být sečteny a tím vytvoří novou, vyšší hodnotu reaktance T článku X_{C1} . Zbytek činnosti pak probíhá jako v případě, že reaktance antény není uvažována. Rezistance antény R_{vyz} je dosazována ve výpočtech jako vstupní rezistance T článku R_1 .

Pokud je na vstup antény připojena reaktance X_{vst} indukčního charakteru, musí být provedena její kompenzace do série zapojenou reaktancí opačného, tedy kapacitního charakteru. Je tedy pomyslně vytvořena kompenzační reaktance. Jelikož jsou reaktance T článku a kompenzační re-

aktance stejného charakteru a v sériovém zapojení, k vypočítané hodnotě reaktance kapacitního charakteru T článku X_{C1} se hodnota kompenzační reaktance přičte. Následně dojde k vzájemné kompenzaci vstupní reaktance antény X_{vst} a reaktance X_{C1} , čímž je vstupní reaktance antény z obvodu odstraněna a reaktance X_{C1} nabude původní vypočítané hodnoty. Zbytek činnosti T článku opět probíhá jako v případě uvedeném výše, kdy reaktance antény není uvažována.

Na Smithově diagramu probíhá přizpůsobení tímto způsobem. Jako první je v T přizpůsobovacím článku do série připojen kondenzátor. Kondenzátor umožňuje v diagramu pohyb proti směru hodinových ručiček po kružnici s konstantní rezistancí. Pohyb po této kružnici je zastaven v místě, ze kterého je umožněno dostat se pohybem proti směru hodinových ručiček po kružnici s konstantní konduktancí, což zajišťuje do obvodu paralelně připojená cívka, na kružnici s konstantní rezistancí vedoucí do místa ideálního impedančního přizpůsobení. Tento poslední pohyb je umožněn sériově zapojeným kondenzátorem článku T.

4 Výpočetní aparát pro základní typy přizpůsobovacích členů

V následujících čtyřech podkapitolách budou uvedeny výpočetní aparáty pro základní čtyři typy přizpůsobovacích členů, jmenovitě pro L člunek, Γ člunek, π člunek a T člunek.

4.1 Člunek typu L

Ze všeho nejdříve je nutno vypočítat pomocnou hodnotu Q , která je důležitá při dalších výpočtech. Lze jí vypočítat podle vzorce č.4.1, kde pod označením R_n se skrývá rezistance napaječe, pod označením R_{vyz} je pak chápán činný odpor, neboli rezistance antény.

$$Q = \sqrt{\frac{R_n}{R_{vyz}} - 1} \quad (4.1)$$

S pomocí vypočítané hodnoty Q je v dalším kroku vypočítána hodnota sériově zapojené reaktance X_s člunku L. K tomu je užito vzorce č.4.2, kde X_{vst} je označení pro reaktanci připojené antény.

$$X_s = R_{vyz} \cdot Q + |X_{vst}| \quad (4.2)$$

Stejně tak hodnota paralelně zapojené reaktance X_p člunku L je vypočítána s využitím pomocné hodnoty Q a to podle vzorce č.4.3.

$$X_p = \frac{R_n}{Q} \quad (4.3)$$

Z hodnot těchto reaktancí X_s a X_p je možno vyjádřit hodnoty obou elektronických součástí člunku L, tedy cívky a kondenzátoru. Za hodnotu reaktance X je dosazena buď hodnota X_s či X_p v závislosti na tom, zdali se jedná o L člunek v provedení dolní propust či horní propust. Kapacita C je vypočítána podle vzorce č.4.4, kde písmenem f je myšlen pracovní kmitočet.

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X} \quad (4.4)$$

Indukčnost L lze pak vypočítat podle vzorce č.4.5.

$$L = \frac{X}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (4.5)$$

Pokud by vyvstala potřeba znát také hodnotu výsledného činitele jakosti obvodu, lze užít vzorce č.4.6, kde R_p je tvořen paralelní kombinací rezistance antény R_{vyzp} a rezistance napaječe R_n . Hodnota R_p může být určena s pomocí vzorce č.4.7, kde hodnotu R_{vyzp} lze určit dle vzorce č.4.8 [11]. Hodnota činitele jakosti by měla vyjít jako polovina vypočítané pomocné hodnoty Q .

Výsledný činitel jakosti je užitečný zejména proto, neboť definuje, v jak velkém rozsahu lze měnit kmitočet, aniž by došlo k podstatné změně vlastností celé soustavy.

$$Q_{vysl} = \frac{R_p}{X_p} \quad (4.6)$$

$$R_p = \frac{R_{vyzp} \cdot R_n}{R_{vyzp} + R_n} \quad (4.7)$$

$$R_{vyzp} = \frac{R_{vyz}^2 + (X_s - X_{vst})^2}{R_{vyz}} \quad (4.8)$$

4.2 Článek typu Γ

Ze všeho nejdříve je zde nutné vypočítat hodnoty pomocné rezistance R_a a reaktance X_a , které jsou důležité pro použití v následujících výpočtech. Hodnotu R_a lze vypočítat dle vzorce č.4.9, kde X_{vst} je označení pro vstupní reaktanci antény a R_{vyz} je označení pro vstupní rezistanci antény. K výpočtu hodnoty X_a lze užít vzorce č.4.10.

$$R_a = R_{vyz} \cdot \left(1 + \left(\frac{X_{vst}}{R_{vyz}} \right)^2 \right) \quad (4.9)$$

$$X_a = X_{vst} \cdot \left(1 + \left(\frac{R_{vyz}}{X_{vst}} \right)^2 \right) \quad (4.10)$$

Dále je potřeba vypočítat pomocnou hodnotu Q . Tuto hodnotu lze získat za pomoci vzorce č.4.11, kde R_n je označení pro rezistanci napaječe.

$$Q = \sqrt{\frac{R_a}{R_n} - 1} \quad (4.11)$$

Následuje výpočet pomocné hodnoty $X_{p'}$ dle vzorce č.4.12, které je užito při výpočtu paralelně zapojené reaktance Γ článku X_p .

$$X_{p'} = \frac{R_a}{Q} \quad (4.12)$$

K výpočtu hodnoty paralelně zapojené reaktance Γ článku X_p lze užít vzorec č.4.13. Vzorec č.4.14 slouží k výpočtu hodnoty sériově zapojené reaktance Γ článku X_s . Hodnota výsledné kapacity C je vypočítána podle vzorce č.4.4, hodnota indukčnosti pak dle vzorce č.4.5 [14].

$$X_p = \frac{X_{p'} \cdot |X_a|}{X_{p'} + |X_a|} \quad (4.13)$$

$$X_s = Q \cdot R_n \quad (4.14)$$

4.3 Článek typu π

Výpočetní aparát pro přizpůsobovací článek typu π se v některých výpočtech liší v závislosti na tom, zdali je na vstup připojena anténa s kladnou hodnotou reaktance či se zápornou hodnotou reaktance. Dále v této podkapitole tedy budou uvedeny vzorce pro výpočty jak s kapacitním, tak s indukčním charakterem reaktance antény.

V případě připojení antény s reaktancí kapacitního charakteru na vstup článku je nejprve nutný převod složek impedance antény ze sériového zapojení na paralelní zapojení, čímž tyto složky získají nové hodnoty. Zde je využito vzorců č.4.15 a č.4.16, kde R_{vyzp} je označení pro rezistanci antény v paralelním zapojení, X_{vstp} je paralelně zapojená reaktance antény, R_{vyz} je rezistance antény v sériovém zapojení a X_{vst} je reaktance antény v sériovém zapojení.

$$R_{vyzp} = \frac{R_{vyz}^2 + X_{vst}^2}{R_{vyz}} \quad (4.15)$$

$$X_{vstp} = \frac{R_{vyz}^2 + X_{vst}^2}{X_{vst}} \quad (4.16)$$

Dále je vypočítána hodnota paralelně zapojené reaktance X_{C1} π článku, kde je zatím zanedbána reaktance antény X_{vstp} v paralelním zapojení. K tomu je využit vzorec č.4.17, kde Q je označení pro předem zvolený činitel jakosti obvodu. Pro pásma krátkých vln se Q obvodu volí v rozmezí od 5 až do 20, kdy v praxi je většinou zvolena hodnota 12.

$$X_{C1} = \frac{R_{vyzp}}{Q} \quad (4.17)$$

Jelikož je v obvodu stále paralelně zapojená reaktance antény kapacitního charakteru X_{vstp} a také paralelně zapojená doplňková reaktance $X_{C1'}$, taktéž kapacitního charakteru, musí tyto dvě hodnoty dohromady dávat hodnotu reaktance antény X_{C1} , vypočítanou předcházejícím vzorcem. Hodnota X_{vstp} je známá a dopočítat je tak nutné hodnotu $X_{C1'}$. Reaktance jsou v paralelním zapojení, tudíž je výhodnější převod na susceptance B převrácením jejich hodnoty. Hodnotu paralelně zapojené reaktance $X_{C1'}$ lze získat vzorcem č.4.18, kde B_{C1} je na susceptanci převedená vypočítaná reaktance π článku X_{C1} a B_{vstp} je na susceptanci převedená reaktance antény v paralelním zapojení X_{vstp} . Odpovídající hodnotu kapacity $C1$, která je v podobě kondenzátoru dosazena do článku, lze získat použitím vzorce č.4.4, kde je za reaktanci X dosazena vypočítaná hodnota $X_{C1'}$.

$$X_{C1'} = \frac{1}{B_{C1} - B_{vstp}} \quad (4.18)$$

Na tomto místě je dále potřeba uvést vzorec pro výpočet sériově zapojené reaktance π článku X_{L1} indukčního charakteru a paralelně zapojené reaktance kapacitního charakteru X_{C2} π článku.

X_{C2} je možno vypočítat dle vzorce č.4.19, kde R_n je hodnota rezistance napáječe. X_{L1} lze vypočítat pomocí vzorce č.4.20.

$$X_{C2} = R_n \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_{vyp}}{R_n}}{Q^2 + 1 - \frac{R_{vyp}}{R_n}}} \quad (4.19)$$

$$X_{L1} = \frac{Q \cdot R_{vyp} + \frac{R_{vyp} \cdot R_n}{X_{C2}}}{Q^2 + 1} \quad (4.20)$$

Odpovídající hodnota kapacity $C2$ lze získat použitím vzorce č.4.4, kde za reaktanci X se dosadí hodnota X_{C2} . Pro výpočet hodnoty indukce $L1$ lze užít vzorce č.4.5, kde se za reaktanci X dosadí hodnota X_{L1} .

Pokud je na vstup π článku připojena reaktance indukčního charakteru, je opět nejprve proveden převod složek impedance antény ze sériového zapojení na paralelní. Pro výpočet příčné hodnoty rezistance R_{vyp} se užije vzorce č.4.15 a pro výpočet hodnoty reaktance X_{vst} potom vzorec č.4.16. Následně se musí vypočítat hodnota reaktance π článku X_{C1} kapacitního charakteru dle vzorce č.4.17. Reaktance X_{C1} je v paralelním zapojení s reaktancí X_{vst} a mají vzájemně opačný charakter. Vzhledem k paralelnímu zapojení je nutno provést převod reaktancí na susceptance. Je potřeba vykompenzovat susceptanci B_{vst} , což lze provést kompenzační susceptancí B_{kom} stejné hodnoty opačného charakteru. Poté je hodnota kompenzační susceptance B_{kom} sloučena s hodnotou susceptance π článku B_{C1} a po převodu zpět na reaktance tvoří dohromady novou hodnotu reaktance π článku $X_{C1'}$. Zde lze použít vzorec č.4.21. Hodnota $X_{C1'}$ je následně použita ve vzorci č.4.4 pro výpočet kapacity $C1$, která je osazena na vstupu π článku. Hodnoty reaktancí π článku X_{L1} a X_{C2} lze získat vzorci 4.19 a 4.20. Odpovídající hodnoty $C2$ a $L1$ lze získat za použití vzorců 4.4 a 4.5 [12].

$$X_{C1'} = \frac{1}{B_{kom} + B_{C1}} \quad (4.21)$$

4.4 Článek typu T

U přizpůsobovacího článku typu T je opět, stejně jako u článku typu π , mírně odlišný výpočet v závislosti na tom, zdali je vstupní reaktance antény X_{vst} kapacitního či indukčního charakteru.

Nejprve je uveden případ, kdy je na vstup T článku připojena anténa, jejíž reaktance má kapacitní charakter. Jelikož je tato reaktance zapojená do série s reaktancí T článku $X_{C1'}$ taktéž kapacitního charakteru, může dojít k jejich vzájemnému sečtení. Před tím, než je to provedeno, je potřeba vypočítat celkovou hodnotu reaktance kapacitního charakteru T článku X_{C1} . K tomu lze použít vzorec č.4.22, kde R_{vz} je rezistance antény a Q je zadaný činitel jakosti obvodu.

$$X_{C1} = R_{vz} \cdot Q \quad (4.22)$$

Právě tuto hodnotu, vypočtené kapacitní reaktance T článku, spolu dohromady musí vytvořit reaktance T článku $X_{C1'}$ a kapacitní reaktance antény X_{vst} . Hodnota reaktance antény je známá, stejně tak hodnota vypočítané X_{C1} a je nutno dopočítat hodnotu $X_{C1'}$, čehož je snadno dosaženo vzorcem č.4.23. Právě z hodnoty $X_{C1'}$ se vyčíslí kapacita kondenzátoru C1, kterou se osadí T článek.

$$X_{C1'} = X_{C1} - |X_{vst}| \quad (4.23)$$

Nyní, aby byl výpočet T článku kompletní, je potřeba ještě dopočítat hodnotu paralelně zapojené reaktance indukčního charakteru X_{L1} a hodnotu sériově zapojené reaktance kapacitního charakteru X_{C2} . Pro výpočet X_{L1} je užito následujícího vzorce č.4.24, kde R_n je rezistance napáječe.

$$X_{L1} = \frac{R_{vyz} \cdot (Q^2 + 1)}{Q + \sqrt{\frac{R_{vyz}}{R_n} \cdot (Q^2 + 1) - 1}} \quad (4.24)$$

K výpočtu X_{C2} lze použít vzorec č.4.25.

$$X_{C2} = R_n \cdot \sqrt{\frac{R_{vyz}}{R_n} \cdot (Q^2 + 1) - 1} \quad (4.25)$$

Skutečné hodnoty C1, C2 a L1 lze vypočítat podle vzorců č.4.4 a č.4.5, kde za reaktanci X se opět dosadí odpovídající hodnoty X_{C1} , X_{C2} či X_{L1} .

Následuje postup výpočtu, pokud je na vstup T článku připojena anténa, jejíž reaktance je indukčního charakteru. Tato reaktance je zapojena sériově k reaktanci T článku opačného, kapacitního charakteru $X_{C1'}$ a nemohou tak být vzájemně sečteny. Je tedy nutno reaktanci antény vykompenzovat sériově zapojenou kompenzační reaktancí kapacitního charakteru X_{kom} stejné hodnoty. Poté je využito vzorce č.4.22 k výpočtu X_{C1} a jelikož má stejný charakter jako reaktance kompenzační, je tato hodnota k vypočítané hodnotě X_{C1} přičtena. Platí tak vzorec č.4.26. Hodnota $X_{C1'}$ se dále užije ve vzorci č.4.4 k výpočtu hodnoty kapacity C1.

$$X_{C1'} = X_{C1} + X_{kom} \quad (4.26)$$

Vzájemnou kompenzací reaktance antény a kompenzační reaktance z obvodu zmizí a v T článku zůstane čistá, vypočítaná hodnota X_{C1} . Hodnoty X_{L1} a X_{C2} pak mohou být vypočítány dle známých vzorců č.4.24 a č.4.25. Pro výpočet skutečných hodnot kapacity C2 a indukce L1 lze použít vzorců č.4.4 a č.4.5 [12].

5 Softwarová aplikace pro výpočet přizpůsobovacích členů

Součástí této bakalářské práce je i praktická část. Cílem praktické části je vytvořit ve vhodném programovém prostředí webovou aplikaci pro výpočet čtyř základních přizpůsobovacích členů, které jsou uvedeny ve třetí kapitole. V této kapitole bude následně popsáno řešení zadaného programu a také funkce, které program umí.

5.1 Vývojové prostředí a programovací jazyk

K vývoji programu jsem použil vývojové prostředí s názvem NetBeans. Toto vývojové prostředí je dostupné zdarma, je vyvíjeno a vlastněno firmou Oracle Corporation a navíc je částečně vyvíjeno i komunitou uživatelů. Primárně je prostředí NetBeans určeno pro programování v jazyce Java. Disponuje však i podporou jazyků C/C++, PHP a hlavně také podporou kombinace jazyků HTML, JavaScript a CSS.

Slovo hlavně, jsem použil proto, neboť právě této kombinace jazyků, tedy přesněji HTML5, JavaScript a CSS3 jsem užil k programování. Volba padla právě takto, neboť pro webovou aplikaci se velmi dobře hodí a také z důvodů použitého frameworku (aplikačního rámce). Tímto frameworkem je jQuery Mobile. Umožňuje vytvářet responzivní webové stránky či aplikace, které jsou použitelné jak na mobilní, tabletové, tak na desktopové platformě. Není tak potřeba psát aplikaci zvlášť pro každou platformu. Navíc nabízí podporu AJAXu (Asynchronous JavaScript and XML), jenž umožňuje měnit obsah stránky bez potřeby jejího kompletního znovunačtení.

HTML5 (HyperText Markup Language 5) je značkovací jazyk, což znamená, že slouží k obohacení textu o strukturu či různý způsob zobrazování některých částí textu. Je hlavním z jazyků pro vytváření webových stránek. HTML dokumenty jsou popisovány pomocí tzv. HTML tagů. HTML tagy jsou klíčová slova umístěná uprostřed špičatých závorek. Pětka v názvu HTML znamená, že se jedná o tento jazyk ve verzi 5, mezi jehož nejdůležitější změny patří podpora multimédií v prohlížeči a podpora aplikací fungujících i bez připojení k Internetu [15].

JavaScript je skriptovací, interpretovaný (nemusí se kompilovat) programovací jazyk užívaný při tvorbě webů. Jedná se o klientský skript, který se vykonává až na straně klienta. Užívá se ke specifikaci chování stránky. Umožňuje přistupovat k jednotlivým interaktivním prvkům grafického rozhraní a definovat jejich funkci. Například co se má stát při stisku tlačítka, nebo umožňuje přistoupit k textovému poli a pracovat dále s jeho obsahem. Je závislý na prohlížeči a v některých verzích nemusí fungovat korektně [16].

CSS3 (Cascading Style Sheets 3) neboli kaskádové styly se staly novějším způsobem jak formátovat webové stránky napsané v HTML, namísto užívání k tomuto účelu původních HTML tagů. Hlavní výhodou je možnost využití jednoho souboru, ve kterém se nadefinuje vzhled celého webu, tudíž odpadá nutnost provádět vše zvlášť pro každou stránku. Umožňuje tedy oddělení vzhledu stránky od obsahu a struktury. Trojka za názvem CSS znamená, že se jedná o třetí verzi kaskádových stylů, mezi jejíž hlavní nové vlastnosti patří např. možnost definice zakulacených

rohů, stínu, pohybu, rotace či průhlednosti. Je opět závislý na prohlížeči a v některých verzích tudíž nemusí fungovat tak, jak má [17].

5.2 Popis řešení zadané webové aplikace

Hlavním HTML souborem, ve kterém je nadefinován text, jeho formátování a jednotlivé prvky webové aplikace, je soubor `index.html`. Při použití jQuery Mobile je každá stránka, dialog, záhlaví, obsah či zápatí uvozována klíčovým slovem `data-role`, za nímž následuje anglický výraz, který definuje roli prvku, většinou odstavce `div`. V HTML dokumentu musí být vždy vytvořen alespoň jeden odstavec v roli stránky, tedy `data-role = page` a uvnitř něho vždy alespoň jeden odstavec v roli obsahu `data-role = content`. Ve mnou vytvořeném programu jsou dva takovéto odstavce v roli stránky a dva v roli dialogu. Odstavec v roli stránky jednoduše představuje jednu samostatnou stránku webové aplikace, v níž se následně definuje obsah.

První stránka slouží pro umístění jednotlivých textových polí, nadpisů a dalších prvků spojených s výpočtem přízpusobovacího článku typu L a Γ . Textová pole jsou zde umístěna v mřížce o třech blocích, kdy ve dvou blocích jsou dvě pole, a poslední blok je prázdný. Mřížky je užito z důvodů, aby docházelo k přeskládání textových polí pod sebe do jednoho bloku v případě, že je webová aplikace spuštěna na obrazovce s menším rozlišením. Poslední blok je prázdný proto, aby textová pole nebyla až příliš roztažená na obrazovce s velkým rozlišením. Všechna textová pole jsou nastavena pouze pro vstupní data v číselné podobě, jelikož není žádoucí, aby uživatel zadával data v jiné podobě. V oblasti stránky, která je určená pro zobrazení výsledku výpočtu, je znovu použita mřížka se třemi bloky, sloužící pro vypsání vypočítaných hodnot a vložení dvou HTML kreslicích pláten `canvas` pro vykreslení obrázku elektrotechnického schématu zapojení daného článku spolu s patřičnými hodnotami u každého prvku a Smithova diagramu s vyznačeným obrazem zadané impedance.

Obdobným způsobem je řešena i druhá stránka, která je určená pro výpočet přízpusobovacího článku typu π a T . K výpočtu je požadována, oproti článku typu L a Γ , jedna vstupní hodnota navíc, pro kterou je potřeba jedno textové pole. K jeho umístění bylo využito posledního bloku, jenž byl v předchozím případě prázdný.

Veškeré výpočty jsou umístěny v JavaScriptovém souboru s označením `calc.js`, který je začleněn v hlavičce do HTML souboru. Jsou v něm přítomny mimo jiné i dvě metody, pojmenované jako `calculateLGamma()` a `calculatePiT()`. K volání vždy jedné z těchto funkcí, v závislosti na tom, zdali je výpočet spouštěn ze stránky pro článek typu L a Γ či π a T , dojde po kliknutí na tlačítko `Vypočítat`, nacházejícího se v zápatí obou stránek. Jak už sám název metod napovídá, jedná se o hlavní metody celé webové aplikace, plnící funkci, pro kterou je aplikace určena, tedy výpočet hodnot pro zapojení jednotlivých přízpusobovacích článků.

Výpočet hodnot pro L a Γ články

Po vstupu do metody `calculateLGamma()` je nejprve získána číselná hodnota každého z textových polí umístěných na dané stránce a následně je uložena do proměnné, se kterou se v metodě dále pracuje. Potom je proveden test, zdali byla správně vyplněna všechna textová pole a tedy, jestli není některá z proměnných prázdná. Pokud ano, zobrazí se dialog upozorňující na tuto skutečnost a zbytek těla metody se neprovede. Pokud ne, probíhá testování toho, která z hodnot vstupní rezistance antény R_{vyz} a rezistance napaječe R_n je větší, podle čehož je zjištěno, zdali se jedná o článek typu L nebo Γ .

Jestliže je hodnota R_{vyz} menší než R_n , dojde k určení, že se jedná o článek typu L, tudíž se provedou pro něho určené výpočty hodnot pomocné proměnné Q, sériově zapojené reaktance článku X_s a paralelně zapojené reaktance článku X_p . Následuje určení, o kterou kombinaci L článku se jedná, zdali o L článek v provedení horní propusti, či v provedení dolní propusti, což je zjištěno z hodnoty reaktance antény X_{vst} . V případě, že je kladná, jde o L článek horní propust, v opačném případě jde o L článek dolní propust. Podle tohoto je dále prováděn výpočet hodnot kapacity C a indukčnosti L s reaktancemi X_s nebo X_p patřičného charakteru a také je do proměnné s označením `type` vložen řetězec s typem daného článku.

V případě, že je rezistance antény R_{vyz} větší jak rezistance napaječe R_n , dojde ke zjištění, že se jedná o článek typu Γ . Provedou se opět patřičné výpočty hodnot pomocné rezistance R_a a reaktance X_a , pomocné proměnné Q a X_p , paralelně zapojené reaktance Γ článku X_p a sériově zapojené reaktance X_s pro tento typ článku. Následuje test, jestli je hodnota reaktance antény X_{vst} kladná, či záporná pro určení toho, zdali se jedná o provedení dolní, či horní propusti Γ článku, což slouží k následnému výpočtu hodnot kapacity C a indukčnosti L, stejně jako tomu bylo u článku typu L.

Pokud je rezistance antény R_{vyz} shodná s rezistancí napaječe R_n , je testována hodnota reaktance antény X_{vst} . Jestliže je záporná, je potřeba použít reaktanci o stejné velikosti, ale opačného, indukčního charakteru. Pokud je kladná, použije se reaktance o stejné velikosti, avšak kapacitního charakteru. Poslední možností je, že je reaktance nulová a v tom případě jsou již zadané impedance přizpůsobeny a není potřeba impedančního přizpůsobovacího členu.

V dalším kroku je v metodě `specifyDecimalPlaces()` zjišťován počet desetinných míst vypočtených hodnot C a L. Tato metoda přijímá jako parametr právě danou hodnotu C či L. Ta je nejprve v metodě převedena na řetězec za pomoci metody `toString()` a zjistí se počet znaků. Na tomto místě je nutné podotknout, že desetinná místa jsou v JavaScriptu v proměnných uložena ve formě vědeckého zápisu, kdy číslo vypadá například jako $1.24e-9$, kde písmeno „e“ má význam „krát deset na“ a je tak obdobou zápisu $1,23 \cdot 10^{-9}$ [18]. Počet znaků je tedy zjišťován, aby mohlo být ověřeno, zdali je na druhém, či třetím místě od konce znaménko mínus, poté se vzaly hodnoty následující za tímto znakem, což je počet desetinných míst a převedly se z řetězce na celočíselnou hodnotu. Pokud řetězec znaménko mínus neobsahuje, testuje se přítomnost znaku desetinné tečky na druhé pozici zleva, kdy při vyhovění podmínce probíhá zjišťování počtu nul

za desetinnou tečkou. Následovně je zajištěno, aby počet míst byl dělitelný třemi a šla tak správně určit předpona u jednotky.

Dále je volána metoda `specifyValue()`, která přijímá jako parametr hodnotu L nebo C a počet míst zjištěný předchozí metodou. Provede se vynásobení hodnoty L či C deseti tolikrát, kolik je v proměnné s počtem míst. Tímto je získána hodnota zbavená desetinných míst.

Následovně je vykonána metoda `specifyPrefix()`. Zde je použita struktura `switch`, ke zjištění předpony soustavy SI z hodnoty počtu míst děleného třemi, který tato metoda přijímá jako parametr.

V poslední části dojde nejprve k zaokrouhlení výsledných hodnot na tři desetinná místa a výpisu textu do prvního bloku mřížky pro výsledek, vytvořeného v souboru `index.html`. Text obsahuje určení typu článku, který přizpůsobuje zadané impedance spolu s hodnotami indukčnosti L , kapacity C a jednotkami s předponami. Dále je vytvořeno HTML plátno `canvas` o velikosti 500x284 pixelů a vloženo do druhého bloku mřížky v souboru `index.html`. Na kreslicí plátno je vykreslen obdélník o velikosti plátna, který je vyplněn bílou barvou. Na tento obdélník je poté, podle typu přizpůsobovacího článku zjištěného z proměnné `type`, vložen obrázek s patřičným elektrotechnickým schématem zapojení článku. Ten je následně doplněn o jednotlivé hodnoty, vykreslené vždy u daného prvku. Do třetího bloku mřížky v souboru `index.html` je vloženo další HTML plátno `canvas` o velikosti 500x500 pixelů, na něhož je umístěn obrázek Smithova diagramu s vyznačeným bodem, který představuje obraz zadané impedance. Tímto krokem metoda pro výpočet hodnot přizpůsobovacích článků L a Γ končí.

Výpočet hodnot pro T a π články

Obdobným způsobem pracuje i metoda `calculatePiT()`, volaná při kliknutí na tlačítko `Vypočítat` na stránce určené pro výpočet článku typu π a T . Proběhne načtení všech hodnot vstupních polí a jejich uložení do proměnných. Následuje otestování správného vyplnění všech vstupních polí určených pro výpočet těchto článků, kdy při nesprávném vyplnění některého pole dojde k upozornění uživatele. Dále je provedeno porovnání hodnot rezistance antény R_{vyz} s rezistancí napaječe R_n , pokud je R_{vyz} větší jak R_n , jedná se o článek typu π . Testuje se podmínka, zdali je hodnota reaktance antény X_{vst} větší, menší, či rovna nule, podle čehož se provádějí příslušné výpočty, vedoucí k určení hodnot obou reaktancí kapacitního charakteru π článku X_{C1} a X_{C2} a reaktance indukčního charakteru π článku X_{L1} , které slouží k výpočtu požadovaných hodnot indukčnosti $L1$ a kapacity $C1$ a $C2$. Do proměnné `type` je uložen typ článku. V případě, že je R_{vyz} větší než R_n , jedná o článek typu T , opět se provede test hodnoty X_{vst} oproti nule a výpočet dle patřičných vzorců vedoucí ke zjištění hodnot X_{C1} , X_{C2} , X_{L1} z nichž jsou vypočteny hodnoty $L1$, $C1$ a $C2$ a do proměnné `type` je uloženo o jaký typ článku se jedná. Při shodných hodnotách R_{vyz} a R_n je zkoumána hodnota reaktance antény X_{vst} , podle čehož dojde k výpočtu buď indukčnosti L , kapacity C , nebo ke zjištění, že jsou již impedance přizpůsobeny. Dále jsou postupně volány stejné metody pro určení výsledných hodnot spolu s předponami soustavy SI,

jako v případě výpočtu článků typu L a Γ a jejichž činnost již byla popsána výše, tedy metody `specifyDecimalPlaces()`, `specifyValue()` a `specifyPrefix()`. Po určení předpony se provede zaokrouhlení hodnot L1, C1 a C2 na tři desetinná místa, které se umístí spolu s předponami, jednotkami a textem informujícím o typu přizpůsobovacího článku do odstavce v prvním bloku mřížky, který je vytvořen v souboru `index.html`. Dále se vytvoří kreslicí plátno `canvas` o velikosti 500x284 pixelů, na něj je následně vykreslen bílý obdélník, na který se vloží, podle typu článku, obrázek schématu zapojení a hodnoty příslušející daným prvkům schématu. Vše se vloží do druhého bloku stejné mřížky souboru `index.html`. Do třetího bloku mřížky se následně vloží kreslicí plátno `canvas` o velikosti 500x500 pixelů a na něj je vykreslen Smithův diagram spolu s vyznačeným bodem, který představuje zadanou impedanci.

Zobrazení bodu impedance na Smithově diagramu

K tomuto účelu je v souboru `calc.js` vytvořena metoda s názvem `smithChart()`, přijímající jako parametr hodnoty rezistance napaječe R_n , rezistance antény R_{vyz} , reaktance antény X_{vst} a identifikátor odstavce HTML dokumentu, v němž se má Smithův diagram vykreslit. Dále probíhá výpočet polohy bodu, dle vzorců č.2.5, č.2.6, č.2.7 a č.2.8.

V dalším kroku se vytvoří element `canvas` o velikosti 500x500 pixelů, jenž se vloží do parametrem metody předaného odstavce. Na něj je následně vykreslen obrázek se Smithovým diagramem. Hledání obrazu zadané impedance v diagramu začíná přesunutím se do středu Smithova diagramu, jenž představuje nulovou velikost vektoru činitele odrazu. Je nutno brát na vědomí, že oblast, ve které je činitel odrazu definován, má tvar kruhu s poloměrem 1 v komplexní rovině, což je zmíněno v 2. kapitole této práce. Proto předem vypočítanou velikost vektoru činitele odrazu je nutné vynásobit hodnotou 243, což je poloměr kruhu vykresleného Smithova diagramu v pixelech. Jelikož je vypočítaná velikost vektoru a jeho úhel v komplexní rovině, je vhodné použít pro určení polohy bodu impedance metodu `arc()`, sloužící pro vykreslení oblouku na elementu `canvas`. Syntax je následující:

```
context.arc(x,y,r,sAngle,eAngle,counterclockwise);
```

Metoda `arc()` přijímá za parametry souřadnici x a y , ve které je střed oblouku. V tomto případě jsou to hodnoty 250 a 250. Dále poloměr oblouku r , což v tomto případě je hodnota velikosti vektoru činitele odrazu vynásobená hodnotou 243. Hodnota 243 byla zvolena s ohledem na přesnost vykreslení. Čtvrtým parametrem je hodnota počátečního úhlu v radiánech, v tomto případě má hodnotu 0. Pátým parametrem je hodnota úhlu, ve kterém bude oblouk zakončen. Pro tento případ je to hodnota 2π od níž je odečtena hodnota vypočítaného úhlu vektoru činitele odrazu. Toto je provedeno, aby se oblouk správně vykreslil. Posledním parametrem je `boolean`, hodnota udávající, zdali má být oblouk kreslen ve směru, či proti směru hodinových ručiček. V tomto případě je hodnota nastavena na `true`, což znamená proti směru hodinových ručiček.

Následně je ještě nutné najít koncový bod vykresleného oblouku, neboť `canvas` neumožňuje ihned na tento bod navázat. Je tedy volána metoda `getPoint()`, která přijímá jako parametr

souřadnice středu, poloměr a koncový úhel oblouku. Návratovou hodnotou jsou souřadnice x a y , ve kterých se nachází konec oblouku. V tomto bodě je nakonec vykreslen kruh o poloměru 4 pixely, vyplněný barvou a představující obraz zadané impedance.

V souboru `calc.js` je také umístěna funkce kontrolující tlačítka pro přepínání mezi výpočtem článků L a Γ a článků π a T , kdy při kliknutí na tlačítko se musí přepnout stránka na jinou. Nastavuje se zde, na kterou stránku se aplikace přepne a zároveň efekt přechodu při přepínání.

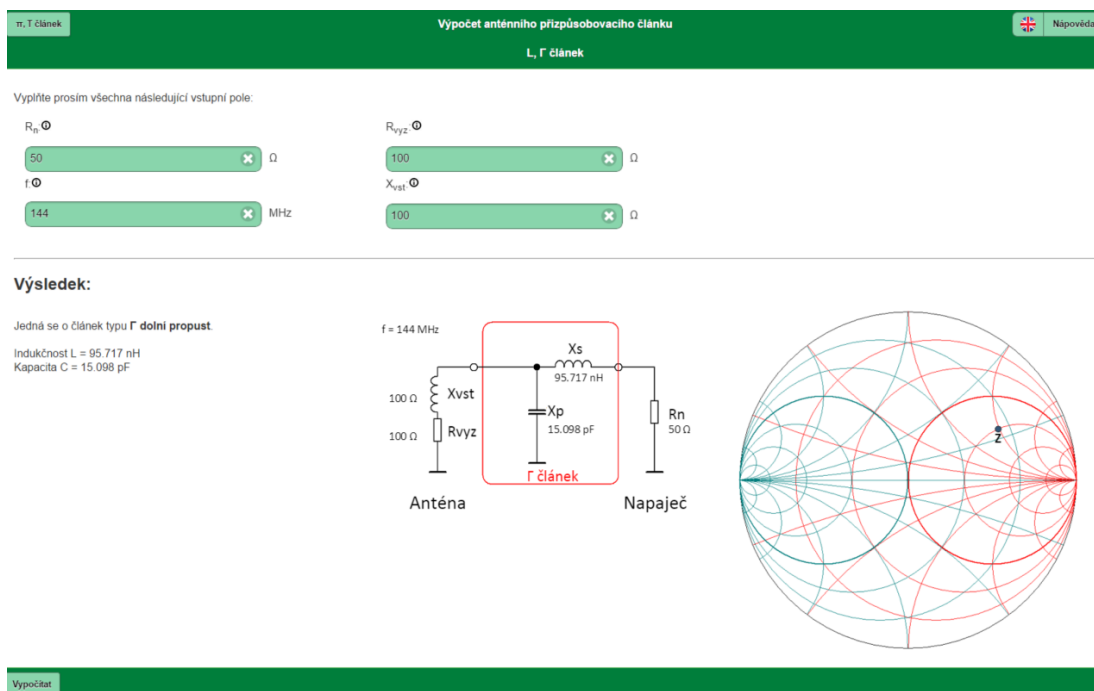
5.3 Popis uživatelského prostředí a funkcí zadané webové aplikace

Celou webovou aplikaci jsem chtěl sladit do barvy reprezentující Vysokou školu báňskou - Technickou univerzitu Ostrava, tedy zelené. Jakmile se webová aplikace spustí, zobrazí se stránka aplikace určená pro výpočet impedančního přizpůsobení za pomoci článků typu L a Γ . Jsou zde k vidění čtyři vstupní pole, vždy s popisky pro jakou hodnotu jsou určeny a s příslušnými jednotkami. U každého popisku vstupního pole je malá ikonka s písmenem „i“ v kolečku, kdy po najetí kurzorem myši nad tuto ikonu se zobrazí nápověda k dané veličině, u které se ikonka nachází.

V záhlaví webové aplikace jsou kromě názvu aplikace a příslušných typů článků, pro které je daná stránka určená, také dvě tlačítka. Na levé straně je umístěno tlačítko sloužící pro přepínání mezi stránkou s výpočtem článku L a Γ nebo článku π a T . Vpravo se pak nachází tlačítko pro zobrazení dialogu s nápovědou k programu. V zápatí aplikace je umístěno pouze jedno tlačítko s označením `Vypočítat`. Tím, jak se dá čekat, se celý výpočet spouští. Pokud je na toto tlačítko kliknuto, aniž by byla správně vyplněna všechna vstupní pole, zobrazí se chybový dialog upozorňující na tuto skutečnost hláškou: „Pro výpočet je nutné správně vyplnit všechna vstupní pole.“. Pokud jsou všechna textová pole vyplněna korektně, aplikace zobrazí v místě určeném pro výsledek výstup. Výsledek je od části určené pro zadávání hodnot oddělný horizontální čarou, čímž je dosaženo lepší přehlednosti. Výstupem webové aplikace je informace, o který typ přizpůsobovacího článku se jedná, dále také hodnoty indukčnosti L a kapacity C , a také obrázek s elektrotechnickým schématem zapojení článku. Ve schématu zapojení se navíc ke každému prvku připsou patřičné hodnoty spolu s jednotkami, získané ze vstupu uživatele či výpočtem. Mimo to je výstupem taktéž Smithův diagram spolu se zakresleným bodem, jenž je obrazem zadané impedance antény. Popsané uživatelské rozhraní aplikace si lze prohlédnout na obrázku č.5.1.

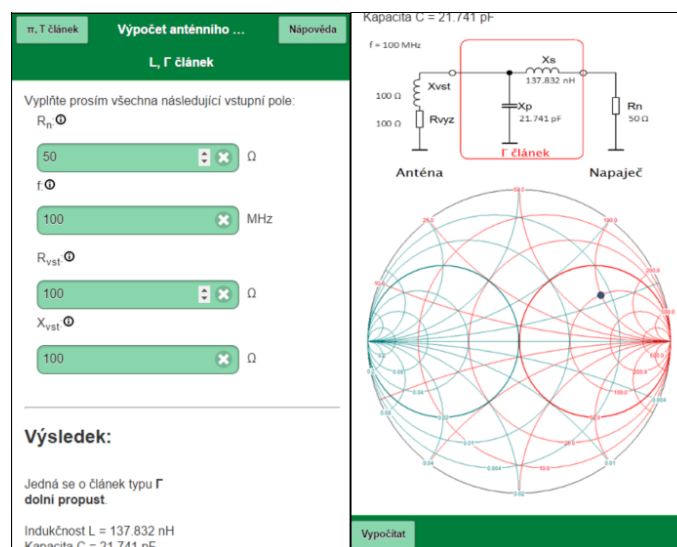
Webová aplikace také umožňuje přepínání jazyků mezi češtinou a angličtinou. Pro tento účel je v pravém horním rohu, vedle tlačítka pro zobrazení nápovědy, umístěno tlačítko s ikonkou vlajčky. Vlajka se mění v závislosti na tom, do jakého jazyka se aplikace přeloží při kliknutí na toto tlačítko.

Celá aplikace je udělána tak, aby se rozmístění jednotlivých komponent přizpůsobovalo velikosti obrazovky. Webová aplikace je tedy responzivní. K vidění je toto přeskládání na obrázku č.5.2, kde je aplikace spuštěna na mobilním telefonu. Mění se nejen velikost vstupních polí, ale také jejich rozmístění. Zatímco při větší šířce okna internetového prohlížeče či při větším rozlišení obrazovky jsou zobrazeny po dvou ve sloupcích vedle sebe, při malé šířce okna prohlížeče nebo



Obrázek 5.1: Printscreen stránky pro výpočet L a Gamma článků

při malém rozlišení obrazovky se pole přeskládají pod sebe. Obdobně to funguje i v části určené pro výsledek. Zde se navíc při změně šířky okna pod 500 pixelů zmenší obrázky na šířku 300 pixelů, aby byly vidět na obrazovce celé.



Obrázek 5.2: Printscreen přizpůsobení stránky obrazovce mobilu

Stránka aplikace určená pro výpočet článků T a π , na kterou se lze přepnout tlačítkem s patřičným popiskem, je pro zachování jednotného vzhledu v podobném provedení. Jedinými změnami jsou zde jiné hodnoty, které je potřeba zadat uživatelem, pak také, že výsledkem je kapacita $C1$, $C2$ a indukčnost $L1$. Součástí výstupu je opět také patřičné schéma zapojení článku a Smithův diagram.

6 Zhodnocení vhodnosti použití členů

Přizpůsobovací článek typu L je charakteristický nejen nejjednodušším zapojením, ale také tím, že vykazuje pouze velice malé ztráty. Provozní činitel jakosti Q se totiž automaticky nastaví na nejnížší možnou hodnotu pro dané přizpůsobení impedancí. Umožňuje však přeladění pouze v malém rozsahu, kdy pojme pouze polovinu Smithova diagramu. Nemůže tak přizpůsobovat na obou stranách současně a je potřeba L článek otáčet, například přepínačem. Z důvodu, že mají články typu L malý vložný útlumu, hodí se především pro vysílací obvody. Použití u přijímacích obvodů znemožňuje především nesymetrický průběh pásma a malá selektivita [19]. Šířka pásma je velmi důležitým hlediskem mnoha aplikací. Je tedy důležité zvážit, zdali není vhodnější přidat do obvodu další prvky k vytvoření článku typu T či π za účelem celkové optimalizace šířky pásma [20].

U přizpůsobovacího článku typu Γ je většina vlastností shodných s přizpůsobovacím článkem L. Mnohá literatura obvykle spojuje pod názvem článku typu L oba tyto články. Hlavním znakem, podle kterého určit, zdali užít článek typu L či Γ , je porovnání hodnot vstupní rezistance antény a rezistance napaječe. V případě, že je hodnota rezistance antény R_{vyz} menší než hodnota rezistance napaječe R_n , užívá se článku typu L. Jestliže je rezistance antény R_{vyz} větší, použije se článek typu Γ . Dále, dle hodnoty reaktance antény X_{vst} , lze určit provedení daného typu článku. Pokud je X_{vst} indukčního charakteru, užívá se L článku horní propust či Γ článku dolní propust. Naopak, v případě, že je X_{vst} kapacitního charakteru, k přizpůsobení se použije L článek dolní propust či Γ článek horní propust.

Přizpůsobovací článek typu T je velice univerzální článek, který dokáže vyladit téměř cokoliv. Bývá tak nejčastějším typem, pokud se jedná o sériově vyráběné tunery. Nevýhodou tohoto článku, stejně jako článku typu π , je skutečnost, že je potřeba složitějšího algoritmu při návrhu automatického přizpůsobení, neboť je nutno řídit tři obvodové prvky, čímž jsou tyto zařízení dražší. Dále je pak z hlediska účinnosti při návrhu potřeba hlídat hodnotu provozního činitele jakosti Q , která nesmí být vysoká, čehož se dosahuje použitím co nejvyšších hodnot kapacit, zatímco hodnoty indukčnosti by měly být co nejmenší. Ztráty přizpůsobovacího článku jsou totiž určeny poměrem Q naprázdno ke Q provoznímu. Při vysokých hodnotách provozního činitele jakosti pak dochází ke značným ztrátám na výkonu [21]. Většinou se před tímto typem přizpůsobovacího článku upřednostňuje článek typu L pro své nízké ztráty a T článku se užívá, až když nelze L článek použít.

Přizpůsobovací článek typu π má většinu vlastností shodných s článkem T. Jedná se tedy opět o univerzální článek. Kvůli účinnosti je zde potřeba hlídat hodnotu provozního činitele jakosti Q , kdy při jeho vysokých hodnotách dochází k velkým ztrátám na výkonu. Zde se však co nejnížších hodnot provozního činitele jakosti Q , na rozdíl od článku T, dosahuje použitím co nejvyšších hodnot indukčnosti a nejnížších hodnot kapacit [22]. Při volbě, zdali pro dané impedanční přizpůsobení užít článek typu π či T, je hlavním hlediskem hodnota rezistance antény R_{vyz} a rezistance napaječe R_n . Pokud je hodnota rezistance antény R_{vyz} vyšší než hodnota rezistance napaječe R_n , užije se článku typu π . Při hodnotě rezistance antény R_{vyz} , která je nižší, je užíván článek typu T.

7 Závěr

Po teoretickém úvodu, jenž obsahuje seznámení s tématem impedančního přizpůsobení a se základními přizpůsobovacími impedančními členy z pasivních prvků, jsem provedl popis řešení webové aplikace, která by měla napomáhat jejím uživatelům při práci s impedančním přizpůsobením antény k napáječi.

Webová aplikace umožňuje ze zadaných vstupních hodnot automaticky rozpoznat typ přizpůsobovacího článku, který lze použít pro přizpůsobení impedance antény k charakteristické impedanci napáječe. Dále také provádí výpočet hodnot indukčnosti a kapacity prvků, ze kterých se anténní přizpůsobovací členy skládají. Tyto údaje jsou následně doplněny o elektrotechnické schéma zapojení daného přizpůsobovacího článku, spolu s vytištěnými patřičnými hodnotami u každého elementu ve schématu. Implementace funkční webové aplikace, provádějící tyto funkce, byla hlavním cílem, který mi byl stanoven před samým započítím činnosti na této bakalářské práci.

V průběhu práce na implementaci webové aplikace, jsem se rozhodl do řešení přidat také možnost, aby se obraz zadané impedance antény zobrazil ve Smithově diagramu. To by mělo napomáhat k lepší orientaci pro uživatele, jimiž by měli být především lidé orientující se v oboru rádiové techniky. Ti ve většině případů při práci s anténními přizpůsobovacími členy užívají právě tohoto diagramu.

Webová aplikace je již plně v provozu online a to na internetové adrese <http://comtech.vsb.cz/zmatch>. Aplikace je rovněž dostupná skrz webové stránky Radioklubu Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Ty lze nalézt na adrese <http://radioklub.vsb.cz>.

Tato bakalářská práce by dále mohla být rozšířena o realizační část, která by se zabývala návrhem a následnou realizací anténního přizpůsobovacího článku. Práce tak představuje případný teoretický základ při psaní diplomové práce.

8 Reference

- [1] DVORSKÝ, Marek. *Základy bezdrátových komunikací pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014, 1 CD-ROM. ISBN 978-80-248-3557-0.
- [2] RAIDA, Zbyněk. Měření vstupní impedance antén. *Ústav radioelektroniky* [online]. VUT Brno, 2013 [vid. 27. ledna 2015]. Dostupné z: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/beva/lab/lab05.pdf>
- [3] SWR, VSWR, SVR, PSV, PSW, ČSV a útlum odrazu. *OK2KKW* [online]. 2013 [vid. 26. ledna 2015]. Dostupné z: http://www.ok2kkw.com/xyz/psv_psw_a_co_z_toho.htm
- [4] BEVELACQUA, Peter Joseph. The Smith Chart. *Antenna Theory* [online]. 2010 [vid. 28. ledna 2015]. Dostupné z: <http://www.antenna-theory.com/tutorial/smith/chart.php>
- [5] Smith Chart Basics. *Centre for Applied Research in Electronics* [online]. 2000 [vid. 28. ledna 2015]. Dostupné z: <http://care.iitd.ac.in/People/Faculty/bspanwar/crl713>
- [6] ASHLEY, Bill. Smith Chart 101. *AEA Technology Inc.* [online]. 2005 [vid. 26. března 2015]. Dostupné z: <http://cssrf.com/wp-content/uploads/2012/03>
- [7] Reflection Coefficient Representation of Transmission Lines. *Massachusetts Institute of Technology* [online]. 2002 [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: http://web.mit.edu/6.013_book/www/chapter14/14.6.html
- [8] Smith Chart Basics. *Microwaves101* [online]. 2011 [vid. 26. ledna 2015]. Dostupné z: <http://www.microwaves101.com/encyclopedias/smith-chart-basics>
- [9] JAVŮREK, František. Impedance a přizpůsobení. *Radio-Foto* [online]. 2007 [vid. 21. prosince 2014]. Dostupné z: <http://www.radio-foto.eu/radio/impedance2.php>
- [10] LYNCH, Frank A. Smith Charts. *IEEE Long Island Section* [online]. 2008 [vid. 25. ledna 2015]. Dostupné z: http://www.ieee.li/pdf/viewgraphs/smith_chart_tutorial.pdf
- [11] NOVÁK, Josef. Jak pracují přizpůsobovací LC reaktanční(anténní) články? - 1. část. *Radioamáter* [online]. 2001, č. 1, s. 20-22 [vid. 19. prosince 2014]. Dostupné z: <http://www.radioamater.cz/cisla/pdf/2001-1-3.pdf>

-
- [12] NOVÁK, Josef. Přizpůsobovací články - dodatek. *Radioamatér* [online]. 2001, č. 3, s. 24-26 [vid. 27. ledna 2015]. Dostupné z: <http://www.radioamater.cz/cisla/pdf/2001-3-3.pdf>
- [13] NOVÁK, Josef. T-článek jako impedanční přizpůsobovací člen mezi anténou a TRX *Radioamatér* [online]. 2001, č. 2, s. 24 [vid. 19. prosince 2014]. Dostupné z: <http://www.radioamater.cz/cisla/pdf/2001-2-3.pdf>
- [14] DANEŠ, Josef. *Amatérská radiotechnika a elektronika (1. díl)*. 1. vyd. Praha: Naše vojsko, 1984.
- [15] HTML5: A vocabulary and associated APIs for HTML and XHTML. *W3C Recommendation* [online]. 2014 [vid. 22. prosince 2014]. Dostupné z: <http://www.w3.org/TR/html/introduction.html>
- [16] JANOVSÝ, Dušan. Úvod do JavaScriptu. *Jak psát web* [online]. 2002 [vid. 23. prosince 2014]. Dostupné z: <http://www.jakpsatweb.cz/javascript/javascript-uvod.html>
- [17] JANOVSÝ, Dušan: Úvod do CSS. *Jak psát web* [online]. 2001 [vid. 23. prosince 2014]. Dostupné z: <http://www.jakpsatweb.cz/css/css-uvod.html>
- [18] Scientific Notation. *New York University* [online]. 2001 [cit. 2015-03-12]. Dostupné z: <http://www.nyu.edu/pages/mathmol/textbook/scinot.html>
- [19] DANEŠ, Josef. *Amatérská radiotechnika a elektronika*. 2. díl. Praha: Naše vojsko, 1986. 590 s.
- [20] HUANG, Yi a Kevin BOYLE. *Antennas: from theory to practice*. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd., 2008, 363 s. ISBN 9780470510285.
- [21] T články a Pí články. *OK2BUH* [online]. 2006 [vid. 26. března 2015]. Dostupné z: <http://ok2buh.nagano.cz/first/impedance2.html>
- [22] Anténní tunery. *OK2BUH* [online]. 2007 [vid. 26. března 2015]. Dostupné z: <http://ok2buh.nagano.cz/first/Antenni%20tunery.html>